



## Mejniki v slovenskem izobraževalnem in raziskovalnem omreževanju

### Milestones in Slovenian education and research networking

#### Povzetek

Se še spomnite, kakšno je bilo prvo omrežje v Sloveniji in kako se je imenovalo? Katere storitve so bile takrat na voljo? Kako nam je uspelo prehoditi dolgo pot od nekaj kilobitnih povezav do današnjih optičnih zvez, ki omogočajo več 10 gigabitov ter kakšne težave smo pri tem premagovali? Katere zahtevnejše storitve so s tem postale mogoče? Kje smo danes, kam gremo in kje so trenutno glavne ovire? Vse to in še kaj bo tema tega prispevka.

**Ključne besede:** Arnes, internet, Decnet, hibridno omrežje, virtualizacija, storitve v oblaku

#### Abstract

Do you remember what the first network in Slovenia was like, and what it was called? What services were available? How did we get from connections of a few kilobits to today's optical connections with speeds of tens of gigabits, and what difficulties did we overcome? What more demanding services became possible as a result? Where are we today, where are we headed, and what are the main obstacles? This presentation covers all this and more.

**Key words:** ARNES, Internet, Decnet, hybrid network, virtualization, cloud services

#### Uvod

Računalniška omrežja imajo v Sloveniji dolgo tradicijo. Niso se začela z uvedbo interneta, ampak že slabo desetletje prej – leta 1984, ko so sistemski inženirji vzpostavili prvi povezavi med glavnimi računalniki Instituta Jožef Stefan in NBS ter Univerze v Ljubljani in Univerze v Mariboru. Počasi je začelo rasti omrežje, ki je povezovalo obe univerzi, večino institutov in drugih javnih institucij ter tudi nekatera podjetja (Jauk, 2011). Zaradi uporabljene tehnologije proizvajalca Digital je bilo poimenovano kar Decnet. V tistem času je bilo to omrežje nekaj posebnega. Po svetu so sicer obstajala akademska omrežja ter omrežja posameznih korporacij, ni pa znan primer omrežja, ki bi sredi osemdesetih let povezovalo tako akademsko kot tudi poslovno okolje.

Omrežje Decnet je močno vplivalo na nadaljnji razvoj. Pridobivalo in širilo se je znanje o omrežnih tehnologijah, uporaba omrežnih storitev med raziskovalci in študenti ter kultura sodelovanja med posamezniki in institucijami. Le-to je kasneje omogočilo ustanovitev Arnesa in vpeljavo najmodernejših tehnologij in storitev v naše okolje.

V nadaljevanju članka je podrobneje opisan celoten proces razvoja omrežij in storitev v izobraževalno-raziskovalnem okolju, od Decneta pa vse do zmogljivega omrežja z bogatim naborom storitev, ki so nam na voljo danes.

## Mejniki v razvoju omrežja

Povezave v našem prvem omrežju **Decnet** so bile za današnje razmere zelo šibke: od 1,200 kb/s do 19,2 kb/s. Toda za tiste čase to ni bila resna slabost, za tekstovne komunikacije je prepustnost namreč zadoščala. Glavni problem je bila geografska omejenost omrežja na področje Slovenije oz. Jugoslavije.

V osemdesetih letih prejšnjega stoletja ni bilo globalnega omrežja, kot ga poznamo danes, ampak je obstajala množica omrežij, zgrajenih na različnih tehnologijah. Če smo hoteli komunicirati npr. z raziskovalci v ZDA, smo morali poskrbeti za dvoje: za mednarodno povezavo ter za posebne omrežne elemente, imenovane prehodi (angl. Gateways), ki so omogočali komunikacijo z omrežji, zasnovanimi na drugih tehnologijah.

**Mednarodno povezljivost** v evropsko raziskovalno omrežje **IXI** smo leta 1989 dobili v okviru projekta Eureka8/Cosine, ki se mu je kot edina takrat »vzhodnoevropska« država pridružila tudi Jugoslavija. Omrežje IXI je bilo zgrajeno na osnovi protokola X.25. Prepustnost naše povezave je bila sprva 48 kb/s, kasneje pa smo jo nadgradili na 64 kb/s. Prehode do drugih omrežij so nam velikodušno omogočala druga akademska omrežja (do BITNET-a in interneta nemško omrežje – DFN, do UUCP pa švicarsko – SWITCH).

Novembra 1991 je bila, takrat še v imenu YUNAC-a – jugoslovanskega akademskega omrežja, v okviru Laboratorija za odprte sisteme na IJS s pomočjo nizozemskega fizikalnega inštituta Nikhef preko omrežja IXI vzpostavljena prva **povezava v internet**. S tem je bil izpolnjen predpogoj za začetek širitve interneta pri nas.

**Z ustanovitvijo Arnesa** 15. maja. 1992 je bil podan organizacijski okvir za vzpostavitev enotnega raziskovalno-izobraževalnega omrežja. Tehnične zahteve za hrbtenično omrežje so bile usklajene med Arnesom, IZUM-om, IJS in obema univerzama junija 1992. Določeno je bilo, da mora biti hrbtenica omrežja enotna, pokrivati mora tako potrebe knjižničnega informacijskega sistema KIS/SZTI, ki ga je gradil IZUM, kot tudi vse ostale storitve, potrebne v akademskem okolju. Podana je bila zahteva po hkratni podpori več protokolov: DECnet (faza IV in faza V oz. CLNS), X.25 in IP (Jauk, A., Baš, I., Bibič, S., Šoštarčič, D., Vidmar, R., Wedam, M., 1992). V skladu s programom dela Arnesa za 1992 (Arnes, 1992) smo začeli z izgradnjo omrežja in širitvijo interneta po Sloveniji. Pri tem smo dosegli kar nekaj uspehov:

- še v okviru projekta KIS/SZTI, ki ga je vodil IZUM, je bilo doseženo bistveno povečanje prepustnosti povezav: med Ljubljano in Mariborom ter med glavnimi vozlišči v Ljubljani na 2 Mb/s, do Kranja ter do večine članic pa na 64 kb/s;
- junija 1992 smo (kot drugi v Evropi) od RIPE n.c.c. pridobili blok IP-naslovov in ga začeli dodeljevati članicam;
- julija 1992 smo vzpostavili vrhnji DNS za domeno .SI in začeli z registracijo slovenskih domen;

- novembra 1992 smo med prvimi v Evropi uvedli usmerjevalni protokol nove generacije BGP-4, ki je omogočal optimizacijo velikosti usmerjevalnih tabel v internetu in s tem njegovo nadaljnjo rast.

Sledilo je obdobje širjenja omrežja v večje slovenske kraje, povezovanja novih članic, na začetku iz raziskovalne in univerzitetne sfere ter knjižnic, kasneje pa vedno več iz srednjega in osnovnega šolstva. Hkrati z rastjo števila priključenih članic ter uvajanjem novih storitev so se večale tudi potrebe po zmogljivosti omrežja. Kmalu je bilo 2 Mb/s premalo. Potrebovali smo zmogljive in cenovno sprejemljive povezave. Slednje je bilo zaradi kroničnega pomanjkanja denarja še posebej pomembno. Podobno kot znotraj Slovenije, so se večale tudi potrebe po zmogljivejših mednarodnih povezavah. Na obeh področjih smo se začasno morali zadovoljiti z drago in kompleksno tehnologijo ATM, s katero smo dosegali prepustnosti do 155 Mb/s. Toda kmalu je bilo tudi to premalo. Edina rešitev je bila zakup optičnih vlaken, ki na enostaven način in relativno poceni omogočajo doseganje tako rekoč poljubne prepustnosti.

Zaradi zapoznele liberalizacije telekomunikacij v Sloveniji smo prve **optične povezave** v hrbtenici omrežja ARNES dočakali šele leta 2000, ko nam je pri Telemachu uspelo zakupiti optiko med vozlišči v Ljubljani. Še večji uspeh smo dosegli leta 2003, ko smo pri Stelkomu zakupili optična vlakna med vozlišči po Sloveniji. S postopno izgradnjo lokalnih privodov smo vse zakupljene povezave nadomestiti z optiko, preko katere smo s tehnologijo ethernet dosegli prepustnost 1 Gb/s.

Zaradi hitre rasti prometa je bila prepustnost 1 Gb/s na povezavi med Mariborom in Ljubljano kmalu premalo. Začasno smo s pomočjo cenene tehnologije CWDM vzpostavili tri vzporedne gigabitne povezave, v letu 2007 pa smo bili prisiljeni preiti na 10 Gb/s. To smo dosegli s pomočjo tehnologije **DWDM**, ki nam omogoča tako rekoč poljubne prepustnosti: med vozlišči omrežja lahko vzpostavimo več vzporednih povezav prepustnosti 10 Gb/s, po potrebi pa bomo lahko prešli tudi na večje prepustnosti – 40 Gb/s oz. celo 100 Gb/s.

Ker nam tehnologija DWDM omogoča vzpostavitev več vzporednih povezav, smo dobili **hibridno omrežje**, ki omogoča dve vrsti storitev:

- s pomočjo usmerjevalnikov prometa zagotavljamo IP-povezljivost z upoštevanjem prioritete posameznih vrst promet (QoS); od leta 2003 poleg IPv4 podpiramo tudi IPv6;
- za zahtevnejše uporabnike zagotavljamo namenske povezave točka–točka prepustnosti 1 Gb/s oz. 10 Gb/s.

Od leta 2007 je tudi naša mednarodna povezava vzpostavljena na osnovi zakupljenih optičnih vlaken ter tehnologije DWDM. V Ljubljani je vozlišče evropskega izobraževalno-raziskovalnega omrežja GÉANT, ki je z več povezavami prepustnosti 10 Gb/s povezano na Dunaj in preko Zagreba na Budimpešto. S tem smo po mnogih letih odpravili ozko grlo, ki ga je predstavljala skoraj ves čas polna mednarodna povezava. Ker je tudi omrežje GÉANT hibridno, lahko namenske povezave točka–točka zagotavljamo tako rekoč med poljubnimi izobraževalno-raziskovalnimi institucijami v Evropi in preko povezav do drugih kontinentov tudi širše.

Organizacije so se na vozlišča omrežja ARNES sprva povezovale zgolj z zakupljenimi vodi. Tehnologija je omogočala prepustnosti do 2 Mb/s. Ko je Telekom Slovenije uvedel ISDN in kasneje še DSL, smo za priklop oddaljenih članic uporabili tudi ti dve tehnologiji. Ponekod smo uporabili tudi dostop preko KTV-omrežij. Toda vse te tehnologije omogočajo zgolj zelo omejene prepustnosti. Le optična vlakna lahko ponudijo potrebne prepustnosti, žal pa marsikje niso na voljo, če pa so že, je njihova cena nerazumno visoka. Zato si je precej organizacij zgradilo **lastne optične povezave**.

Za razvoj interneta v Sloveniji je bila zelo pomembna tudi storitev klicnega dostopa za posameznike, ki ga je Arnes sprva omogočal preko analognih telefonskih linij, kasneje pa tudi preko ISDN. Danes je ta storitev v uporabi zgolj v komunikacijsko najbolj nerazvitih delih Slovenije, kjer nimajo nobene druge možnosti.

Pozabiti ne smemo na **SIX**, Slovenian Internet Exchange, ki je omogočil medsebojno povezovanje vseh slovenskih ponudnikov interneta. Ko smo ga vzpostavili februarja 1994, je bil eno prvih tovrstnih vozlišč v Evropi.

### Mejniki v razvoju storitev

V omrežju Decnet smo uporabniki imeli na voljo presenetljivo širok nabor storitev, ki so, čeprav v nekoliko drugačni obliki, aktualne še danes: elektronska pošta, prenos datotek, diskusijske oz. novičarske skupine, oddaljen dostop do strežnikov in pošiljanje kratkih sporočil. Dokler nismo leta 1989 vzpostavili povezave v mednarodno akademsko omrežje IXI, smo bili pri tem omejeni na območje Jugoslavije. Potem pa se nam je odprla kopica novih možnosti. Prehodi, ki so nam jih nudila druga nacionalna akademska omrežja, so nam omogočali komunikacijo z uporabniki omrežij, zgrajenih na drugih tehnologijah: internetom, BITNET-om in omrežjem UUCP. S pomočjo elektronske pošte in posebnih prehodov smo lahko brskali po repozitorijih datotek na internetu in BITNET-u ter prenašali datoteke. Pomembno vlogo so odigrali tudi e-poštni sistemi za distribucijske liste. Najbolj znana med njimi sta bila RokPress in Pisma-bralcev.

Z uvedbo interneta sprva nismo dobili kopice dodatnih storitev (izjema je bil Usenet News), ker jih takrat na internetu še ni bilo. Res pa je, da za oddaljen dostop do strežnikov v internetu, prenos datotek in elektronsko pošto nismo več potrebovali nerodnih prehodov; seveda zgolj s sistemov, na katere smo naložili ustrezno programsko opremo. V začetku devetdesetih let so bili operacijski sistemi večinoma še brez podpore za internet. Za nekatere je bila na voljo brezplačna programska oprema, za večje sisteme pa jo je bilo treba kupiti. Ob uvedbi interneta smo poskrbeli tudi za lastne prehode med Decnetom in internetom.

Internet, kot ga nekateri razumejo danes in ga pomotoma celo enačijo s **spletom**, se je v Sloveniji začel s prvim spletnim strežnikom, ki so ga postavili na računalniškem centru Instituta Jožef Stefan (Oblak-Črnič, 2008). Spletna tehnologija se je zelo hitro razširila, z njo je bilo na voljo vedno več storitev, tudi takšne, kot smo jih poznali že od prej: novičarske skupine in forumi ter e-pošta. Zaradi rastočega zanimanja za to tehnologijo smo tudi gostujočim uporabnikom

na Arnesovem centralnem strežniku Stenar omogočili postavitve lastnih spletnih strani.

Večanje prepustnosti povezav v omrežju ARNES ter razvoj strojne in programske opreme je postopoma omogočil **multimedijske storitve**. Po prvih, zaradi nezrelih implementacij relativno nerodnih korakov v začetku tisočletja smo v letu 2003 ponudili podporo za večtočkovne videokonference po standardu H.323 in H.320 (videokonference preko protokola IP ter preko ISDN), kasneje pa tudi po standardu SIP. Članice so se začele opremljati s sobnimi videokonferenčnimi sistemi, ki so zagotavljali relativno kakovostno sliko in zvok. Kasneje smo dodali še sistem za snemanje H.323-videokonferenc ter podporo za videokonference visoke ločljivosti, najprej 720p, nato pa še 1080p. Leta 2010 smo dodali storitev spletnih konferenc – VOX, ki je zaradi enostavnosti uporabe multimedijsko komunikacijo približala širokemu naboru uporabnikov. V 2011 smo razvili in začeli s pilotnim delovanjem video portala – storitve videa na zahtevo, ki uporabnikom omogoča nalaganje lastnih video vsebin, ter portala za upravljanje centralnega sistema za večtočkovne videokonference H.323/SIP.

Zaradi vse večje **mobilnosti** raziskovalcev in kasneje tudi študentov je bilo treba poskrbeti za dostopnost do storitev od koder koli, in sicer na varen način in z minimalno količino administriranja. Le-to smo dosegli z vzpostavitvijo dveh storitev: storitvijo gostovanja pri dostopu do brezžičnega omrežja (**Eduroam**) leta 2004 ter storitvijo enotne prijave v spletne aplikacije (federacija **ArnesAAI**), ki je nadgradnja storitve eduroam, leta 2010. Storitvi omogočata uporabo istega uporabniškega imena tako za prijavo v omrežje kot v spletne aplikacije.

Razvoj mehanizmov za **virtualizacijo** ter večanje prepustnosti omrežnih povezav sta omogočila, da smo leta 2007 članicam ponudili možnost **gostovanja navideznih strežnikov** – GVS. Storitve smo postopoma dopolnjevali, tako da je sedaj na voljo v vseh treh oblikah **storitev v oblaku**: infrastruktura kot storitev (IaaS), platforma kot storitev (PaaS) in programska oprema kot storitev (SaaS). V slednji različici vsebuje v izobraževalnem okolju popularna CMS (Joomla) ter LMS (Moodle). V letu 2011 smo ponudili še eno storitev vrste IaaS – Arnes storage, ki članicam omogoča dostop do prostora na diskovnem sistemu, na katerega lahko shranjujejo svoje podatke. Ta storitev je zaradi velikih zahtev do omrežja na voljo zgolj članicam, ki imajo ustrezno zmogljivo povezavo v omrežje ARNES.

V letu 2010 smo vzpostavili testno gručo strežnikov na osnovi tehnologije **GRID**, ki slovenskim znanstvenikom omogoča spoznavanje s to tehnologijo za porazdeljeno izvajanje kompleksnih izračunov.

V 2011 in 2012 smo razširili nabor storitev v oblaku s poudarkom na **podpori skupinskemu delu** ter uporabi **enotne prijave**: ponudili smo storitev »blog«, ki omogoča enostavno postavitve dinamičnih spletnih strani tudi za posameznike, »planer« za usklajevanje terminov sestankov ter »filesender«, ki poenostavlja izmenjavo do 100 GB velikih datotek. Posameznikom, ki so na svoji domači organizaciji pridobili netID (uprabniško ime, ki je veljavno v federaciji ArnesAAI), smo ponudili spletni portal, na katerem si lahko ustvarijo uporabniško ime, gostujoče na Arnesu (guest.arnes.si), mu podaljšujejo veljavnost ter upravljajo nastavitve. S tem se izognejo zamudnim postopkom s papirnatimi prijavnici in formularji za podaljševanje.

## Zaključek

Z Decnetom se je začel relativno hiter in uspešen razvoj omrežja in storitev. Večali smo prepustnosti povezav, širili omrežje ter uvajali nove, zahtevnejše storitve. Včasih so storitve morale čakati na razvoj omrežja, drugič pa je omrežje čakalo na storitve, ki ga bodo zapolnile. Nenehno nas je spremljalo pomanjkanje finančnih sredstev in kadra. Ključno za uspeh pa je bilo sodelovanje med vsemi akterji.

Kaj nas čaka v prihodnosti? Vsekakor nadaljnji razvoj. Prihajajo še zahtevnejše storitve, povečan bo poudarek na orodjih za podporo skupinskemu delu, multimedijskih storitvah, zagotavljanju mobilnosti, storitvah v oblaku ter zmogljivejših in bolj prilagodljivih omrežnih povezavah. Pri snovanju rešitev ne smemo pozabiti na varovanje osebnih podatkov. Pomembno vlogo pri tem bo igral federativni pristop pri zagotavljanju storitev. Organizacije bodo storitve ponujale tudi uporabnikom iz drugih organizacij. Pri razvoju storitev bodo med seboj sodelovale. Pogoj za uspešen razvoj bo tudi v prihodnje dostop do optičnih vlaken ter spoštovanje principa odprtosti omrežja. Vsaj za izobraževalno-raziskovalno sfero je to zaradi potrebe po razvoju novih storitev ključnega pomena.

Eden od izzivov, ki ga moramo rešiti, je, kako storitve približati uporabnikom, kako jih pritegniti k sodelovanju pri njihovem razvoju ter kako zagotoviti ustrezen nivo podpore, med drugim s pomočjo izobraževanja IT-strokovnjakov v posameznih organizacijah. Pa smo spet pri sodelovanju, ki je za razvoj in zagotavljanje modernih naprednih storitev ključnega pomena.

## Viri

1. Arnes, (1992): Program dela za leto 1992. Gradivo za 1. sejo Upravnega odbora Arnes, . 21. 9. 1992.
2. Prispevek v zborniku: Jauk, A. (2011): Medmrežje v Sloveniji – od začetkov do eksplozije interneta. V: Informacijska družba – IS 2011, Ljubljana.
3. Jauk, A., Baš, I., Bibič, S., Šoštarčič, D., Vidmar, R., Wedam, M. (1992): Zahteve za bodočo slovensko akademsko mrežo, 24. 6. 1992.
4. Oblak-Črnič, T. (2008): O začetkih Interneta na Slovenskem, Javnost – The Public, št. 15, str. 151–174, Ljubljana.